



CEPC 热负荷统计、 环辅助隧道方案调整及成本分析过程

赵路阳/陈福庆/黄金书/金大鹏
颜加明--华东勘测设计研究院



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

Content

- 空调热负荷统计和计算过程
- 环辅助隧道布置方案调整成本分析过程



空调热负荷统计和计算过程

数据来源：

- 1、唐光毅20250218给出最新版100MW同步辐射光热沉积分布计算成果；
杨梅20250407回复：目前铅块水冷+铁芯水冷，初步计算二极磁铁中的热沉积功耗由铁芯和铅块上的水冷可以带走2/3，四极磁铁中可以带走1/2。
- 2、20250208~0214，会同功率源、电源、真空等按空调热负荷/水冷热负荷/各区域电缆发热，整理了相关资料。

100MW同步辐射光热沉积

Higgs 50MW	Energy deposition [%]	空调负荷-20250407	ttbar 50MW	Energy deposition [%]	空调负荷-20250407
Collider beam-pipes	74.51		Collider beam-pipes	69.7	
Collider dipole	10.64	3.55	Collider dipole	11.8	3.93
Lead in dipole	6.11	2.04	Lead in dipole	7.61	2.54
Corrector	0.28	0.28	Corrector	0.35	0.35
Collider quadrupole	1.06	0.53	Collider quadrupole	1.27	0.64
Lead in quadrupole	0.93	0.47	Lead in quadrupole	1.13	0.57
Lead in corrector	0.29	0.29	Lead in corrector	0.33	0.33
Collider sextupole	0.51	0.51	Collider sextupole	0.64	0.64
Lead in sextupole	0.82	0.82	Lead in sextupole	0.99	0.99
Lead around beampipe	0.54	0.54	Lead around beampipe	0.64	0.64
Colling water around beam pipes	0.2	0.20	Colling water around beam	0.3	0.30
Air + Wall + magnet support	1.3	1.30	Air + Wall + magnet support	2.14	2.14
BPM/bellow/flange/pump	2.7	2.70	BPM/bellow/flange/pump	2.92	2.92
Booster	0.06	0.06	Booster	0.1	0.10

•表 1 主隧道内沉积能量功率占总同步辐射功率比例（Higgs 模式 100MW）。因未包含增强器等设备沉积能量占比，表中数值总计 99.95%。

	Collider beam-pipes	Air + Wall + magnet support	BPM/bellow/flange/pump
Energy deposition [%]	74.51	1.30	2.70
	Collider dipole	Collider quadrupole	Collider sextupole
Energy deposition [%]	10.64	1.06	0.51
	Lead in dipole	Lead in quadrupole	Lead in sextupole
Energy deposition [%]	6.11	0.93	0.82
	Corrector	Lead in corrector	Lead around beampipe
Energy deposition [%]	0.28	0.29	0.54
	Colling water around beam pipes		Booster
Energy deposition [%]	0.20		0.06

总同步辐射功率比例（ttbar 模式 备沉积能量占比，表中数值总计

Air + Wall + magnet support	BPM/bellow/flange/pump
2.14	2.92
Collider quadrupole	Collider sextupole
1.27	0.64
Lead in quadrupole	Lead in sextupole
1.13	0.99
Lead in corrector	Lead around beampipe
0.33	0.64
und beam pipes	Booster
0	0.10

CEPC空调负荷统计-20250407					
区域	设备	Higgs 30MW散热量 (MW)	Higgs 50MW散热量 (MW)	ttbar50MW散热量 (MW)	备注
直线隧道linac+ BTL+ damping ring		0.68	0.68	0.68	
	高频加速管、腔体、模组、波导	0.38	0.38	0.38	按水冷负荷的5%暂估
	磁铁及电缆	0.3	0.3	0.3	按水冷负荷的5%暂估
直线地面长廊		0.45	0.45	0.45	
	真空机柜	0.11	0.11	0.11	
	射频功率源、调制器、速调管	0.18	0.18	0.18	
	磁铁电源	0.16	0.16	0.16	
主环隧道 (不含高频区, 总长96.4km)		17.37min/32.53max/计算22.24	19.44min/41.21max/计算27.55	36.89min/62.13max/计算46.49	风管干管按ttbar模式下的最大、最小两个工况评估风管尺寸
	磁铁	2.55	2.55	4.2	4.2
	磁铁电缆	8.38	8.38	18.35	18.35
	配电电缆	1.84	1.84	6.36	6.36
	照明	1.5min/3max	1.5min/3max	1.5min/3max	1.5
	同步辐射光热沉积	3.1min/15.26max/计算7.97	5.17min/25.44max/计算13.28	6.48min/30.22max/计算16.08	按照杨梅20250407提供的结论：目前铅块水冷+铁芯水冷，初步计算二极磁铁中的热沉积功耗由铁芯和铅块上的水冷可以带走2/3，四极磁铁中可以带走1/2。 ttabar运行模式为16.08MW
全部192个主环辅助隧道 用于考虑总体负荷及流量设计		11.644	12.644	14.394	按Higgs50计算，可兼顾ttbar
	真空机柜	2.49	3.49	3.49	
	磁铁电源	1.01	1.01	2.23	
	电源电缆	0.44	0.44	0.97	
	控制机柜	1.846	1.846	1.846	暂按EDR
	束测机柜	1.826	1.826	1.826	暂按EDR
	辐射防护机柜	2.112	2.112	2.112	暂按EDR
	供电设备	1.92	1.92	1.92	暂按EDR
2个高频区总计（每个高频区长度1.8km）		4.6	7.67	7.67	风管按ttbar
	高频加速管、腔体、模组、波导	4.6	7.67	7.67	
2个高频区辅助隧道总计（每个暂估2km）		0.926	1.55	1.55	风管按ttbar
	速调管	0.92	1.54	1.54	暂按总功率1%考虑
	工艺电缆	0.006	0.01	0.01	
高频区地面2处大厅		0.93	1.54	1.54	按Higgs50
	高频功率源	0.93	1.54	1.54	暂按总功率1%考虑
单个竖井（共8个）		0.06	0.06	0.22	风管按ttbar
	配电电缆	0.06	0.06	0.22	
高频辅助隧道到地面		0.06	0.1	0.1	风管按ttbar
	高频功率源与速调管电缆	0.06	0.1	0.1	暂估

工程总体空调负荷min:	39.013	44.357	63.728
工程总体空调负荷max:	50.84	56.18	77.26
工程总体空调负荷-20250407计算:	41.59	52.244	73.094
主环隧道（含辅助隧道）空调负荷min:	31.084	32.084	51.284
主环隧道（含辅助隧道）空调负荷max:	52.854	32.084	76.524
主环隧道（含辅助隧道）空调负荷-20250407计算:	39.41	49.414	70.104

环辅助隧道方案调整及成本分析过程

CDR至TDR阶段:

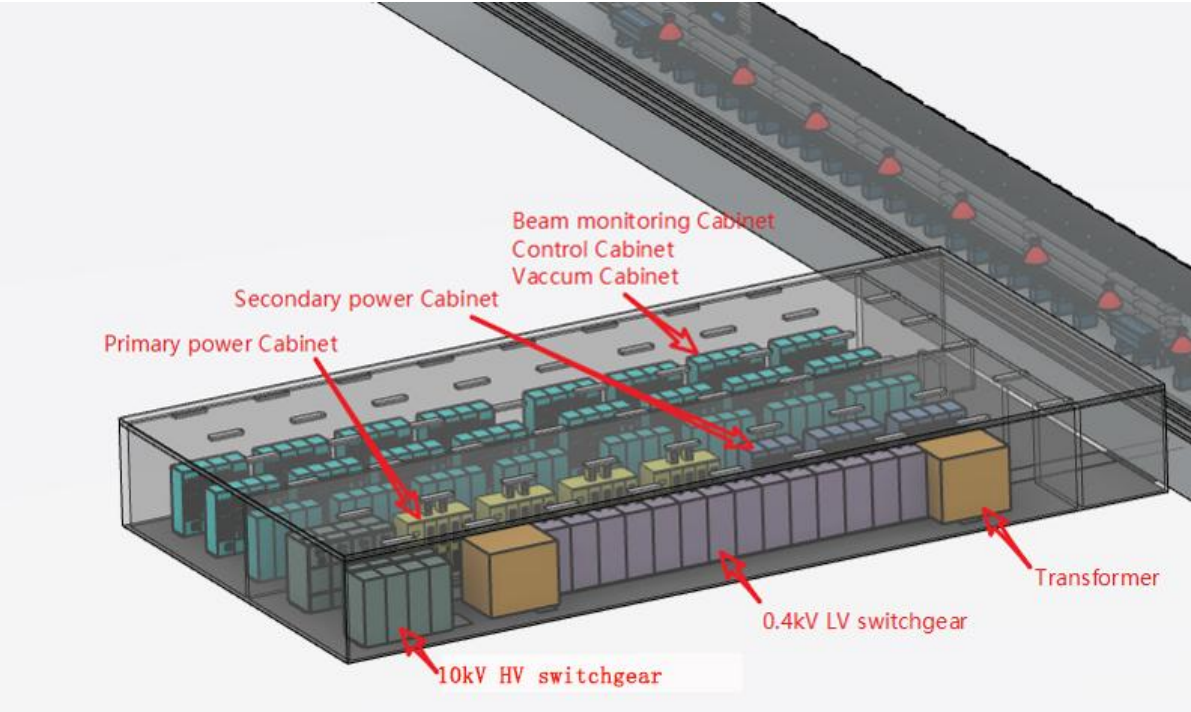
由黄河设计院规划，96个辅助隧道；
仅放置变配电设备、机柜；

9.4.3.2.5 Auxiliary Tunnels

There are 96 auxiliary tunnels uniformly distributed around the ring for the underground power transmission system, electronic equipment, and other auxiliary components, as shown in Table 10.2.4. Each auxiliary tunnel is 30.00 m long, and has a cross section of 7.00 m × 7.00 m for the first 10.00 m and 6.00 m × 6.00 m for the remaining 20.00 m.

Table 10.4.4: Auxiliary tunnels

Auxiliary tunnels	Item	Unit	Qty
	Qty	Nos.	96
	length of individual tunnel	m	30
	Dimension (∩-shaped)	m	7.00 × 7.00 (Front 20 m)
		m	6.00 × 6.00 (Rear 10 m)



环辅助隧道方案调整及成本分析过程

EDR阶段:

- 1、重新统计了环辅助隧道机柜数量、设备负荷、电缆数量等;
- 2、首先仍按照96个辅助隧道 (1个/1km)进行布置; 辅助隧道的空调方案有所调整, 同时和辐射防护结合讨论; 隧道长度增加。
- 3、2024年开始, 由金大鹏老师组织系列会议, 讨论环辅助隧道数量增加1倍后, 可靠性、可用性和成本变化。

经过4次会议和报告后, 最终结论是工艺设备造价可减少, 土建和通用设施造价增加, 总体造价基本不变。

高能所 CEPC 项目会议纪要

2024 (01) 号

前端设计及通用、辐射防护讨论会 签发: 金大鹏

CEPC 前端设计及通用、辐射防护讨论会纪要

时间: 2024 年 02 月 04 日 08: 30

地点: 化学楼 C407/腾讯视频

主持: 金大鹏

出席: 高 杰、李煜辉、林国平、黄金书、董海义、

马永胜、随艳峰、陈 斌、龙锋利、马忠剑、

雷 革、李 刚、马新朋、金大鹏

记录: 金大鹏

一、CEPC 的前端设计需要综合考虑成本、可靠性、可用性等方面, 相关系统 (比如束测、电源、真空、控制、参考线) 的设计高度耦合并与通用环境和辐射剂量直接相关。按照 CEPC Day 2024 年 1 月 29 日会议的决定, 安排金大鹏组织召开相关会议, 希望 2-3 个月能够拿出 1-3 个考虑较为全面的可行的设计方案, 在 CEPC Day 会议上由各系统分别汇报。

二、金大鹏结合 CEPC Day 2024 年 1 月 29 日会议控制系

统的报告, 对相关的问题进行了阐述, 与会人员经过讨论, 达成意向如下:

1. 请通用系统结合装置地气候、TDR 设计、基建等给出隧道内的环境温度建议值, 并分析将支洞数量增加一倍, 面积减半的建设成本, 供各系统设计参考。支洞内考虑采用单独的冷水机组, 温度控制参考各系统的需求, 具体工作温度后续明确。

2. 请辐射防护系统分析隧道内的辐射剂量情况及沿环分布, 并给出采用 10 厘米厚定制混凝土屏蔽盒的屏蔽效果, 供各系统参考。混凝土屏蔽盒的放置位置暂定在 CEPC 束流线下方。混凝土屏蔽盒二次制冷较为困难, 工作在环境温度。

3. 请束测系统分析增加支洞后的成本变化, 后续根据辐射剂量情况综合考虑电子学前置的可能性及成本, 需要时做实验确定。

4. 请电源系统分析增加支洞后的成本变化, 后续根据辐射剂量情况综合考虑电源模块和控制电路前置的可能性及成本, 需要时做实验确定。

5. 请真空系统分析增加支洞后的成本变化, 后续根据辐射剂量情况综合考虑供电模块和采集单元前置的可能性及成本, 需要时做实验确定。

6. 控制系统需要结合各系统的设计和需要, 提供相应的控制信号, 并实现控制和数据采集功能。

环辅助隧道方案调整及成本分析过程

高能所 CEPC 项目会议纪要

2024 (02) 号

前端设计及通用、辐射防护讨论会 签发：金大鹏

CEPC 前端设计及通用、辐射防护讨论会纪要

时间：2024 年 02 月 27 日 14: 00

地点：化学楼 C407/腾讯视频

主持：金大鹏

出席：高 杰、李煜辉、林国平、黄金书、马忠剑、
马永胜、陈 斌、雷 革、马新朋、王海静、
唐光毅、金大鹏

记录：金大鹏

一、黄金书和林国平汇报，支洞数量增加一倍，总面积约增加 1/3，基建经费约增加 1 亿元。辅助隧道内的变压器、冷水机组等一变二不会大幅增加费用，但会额外增加高压柜和低压柜，以及管阀和控制等，请黄金书负责核算。关于环境温湿度，与会人员讨论建议（1）隧道温度 35℃，湿度不超过 70%；（2）支洞内温度 27℃，湿度不超过 60%。后期，需要由设计院根据地质情况、实际施工情况和造价，保证上述温湿度条件

能够实现。

二、唐光毅汇报了隧道内的辐射剂量和采取 10 厘米厚混凝土屏蔽后的辐射剂量模拟结果。结果显示，辐射剂量主要由同步辐射造成，10 厘米厚混凝土屏蔽后的辐射剂量率在几百 Sv/h。与会人员初步评估，电子学设备无法在该辐射场下工作，请马忠剑跟王海静确认支架下部可用的空间，进行深入的模拟，将年吸收剂量降低到 100Sv 以内。关于总剂量（Total Ionization Dose）效应的评估，请马忠剑跟东莞研究部敬罕涛沟通了解情况。请马忠剑考虑将相关模拟结果写成 note，供大家参考。

三、金大鹏代随艳峰汇报了支洞增加后束测线缆长度和经费减少的情况，估计线缆长度减少约一半，经费减少 8000 万元以上。

四、马永胜汇报，支洞增加后真空线缆约减少 38%，经费减少约 3000 万元。

五、请陈斌一周内给出支洞增加后电源系统的经费变化情况。

六、金大鹏汇报，控制系统经费增加预计不超过 500 万元。

七、CEPC 的各高频系统和两个对撞点，都需要低抖动相位稳定的时钟，请马新朋考虑相关预算并向周祖圣汇报，由周祖圣向高杰汇报。关于参考线长距离传输补偿技术研究，经费在控制系统的预算里，请马新朋提出需求和方案。关于束测系

统 BPM 的低抖动时钟需求，请马新朋评估相关经费需求。

八、请金大鹏结合调研情况写一个关于电子学设备辐照相关的 note，并发给与会人员补充完善。请金大鹏召集随艳峰、陈斌、马新朋、雷革分析无线传输技术应用的可能性及问题。

九、本次会议决定。

1. 请黄金书负责核算支洞增加后高压柜、低压柜，以及管阀和控制等的费用增加情况。

2. 请马忠剑跟王海静确认支架下部可用的空间，进行深入的模拟，将年吸收剂量降低到 100Sv 以内。

3. 请马忠剑跟东莞研究部敬罕涛沟通了解总剂量效应的评估方法。

4. 请马忠剑考虑将相关模拟结果写成 note，供大家参考。

5. 请陈斌一周内给出支洞增加后电源系统的经费变化情况。

6. 请马新朋考虑高频系统和两个对撞点参考线相关的预算并向周祖圣汇报，由周祖圣向高杰汇报。

7. 请马新朋考虑参考线长距离传输补偿技术研究，提出方案和经费需求。

8. 请马新朋评估满足束测系统 BPM 低抖动时钟需求带来的参考线经费需求。

环辅助隧道方案调整及成本分析过程

高能所 CEPC 项目会议纪要

2024 (03) 号

前端设计及通用、辐射防护讨论会

签发：金大鹏

CEPC 前端设计及通用、辐射防护讨论会纪要

---无线传输专题

时间：2024 年 03 月 07 日 10: 00

地点：化学楼 C407/腾讯视频

主持：金大鹏

出席：高 杰、马永胜、陈 斌、雷 革、马新朋、

随艳峰、叶 强、魏书军、杜焱焱、郭晓玲、

金大鹏

记录：金大鹏

一、本次会议就 CEPC 项目中加速器部分的无线传输需求进行讨论。与会人员围绕经费、可靠性、误码率等进行了深入交流和讨论，具体如下：

1. 经前两次会议讨论及初步评估，隧道内支洞数量由 96 个增加一倍后，初步汇总的信息显示，经费不会增加，具体变

化需要结合通用和电源系统的评估给出。作为一个基础方案，建议束测、真空、控制系统将电子设备放在支洞内；电源系统的校正子电源及控制器放置位置请陈斌继续评估，其它电源及控制器建议放在支洞内。

2. 无线传输的使用场景主要有两个，（1）支洞内信号扇出和收集；（2）隧道内局部信号扇出和收集（如果有大量设备放置在隧道内）。使用无线传输的核心目的是减少连接光纤和电缆。按电子设备放在支洞内考虑，每个支洞连接线缆按 300 条（含所有网络和定时连接）计，每条线缆单价 200 元，200 个支洞电缆总价约 1200 万元，考虑到无线传输天线、器件等成本，预计综合节约成本约 600 万元。考虑到商业货架产品选型及采购等因素，无线传输不具备明显的成本优势。

3. 无线传输受空气和周围环境影响较大，波在传输过程中的多次反射对接收信号的质量影响很大，接收端需要进行复杂的信号处理，每次传输的一致性和确定性比有线传输差很多。图 1 为典型应用环境下不同通讯速率数据包错误率与距离的关系。对于 54Mbps，低误码率传输范围不超过 25 米；对于 6Mbps，低误码率传输范围不超过 240 米。较小的低误码率传输范围限制了无线传输的应用。如果要扩大无线传输的低误码率传输范围，则需要增加收发端天线的发射功率，现场环境也需要进行一定的设计和管理（防止遮蔽天线，阻挡信号传输链路等）。

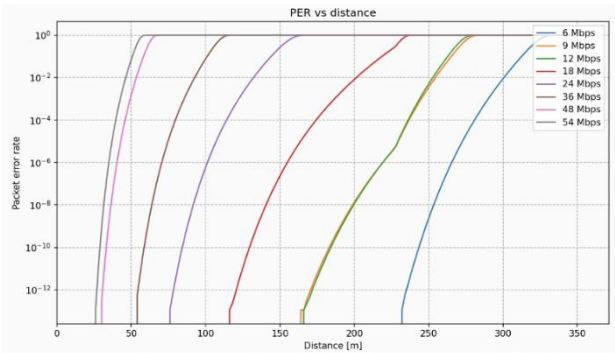


图 1：典型应用环境下数据包错误率与距离的关系

二、关于电源系统的校正子电源和控制器。CEPC 的校正子电源单台功率在几十瓦左右，如果将电源本体放在支洞内，连接线缆很长，建造成本及热功耗都较大。需要结合辐射防护系统的模拟结果综合评估给出合理的设计方案。

三、本次会议决定：

1. 请陈斌结合辐射防护系统的模拟结果综合评估给出合理的校正子电源设计和布置方案。

发：CEPC 前端设计及通用、辐射防护讨论会相关人员及与会人员

环辅助隧道方案调整及成本分析过程

Preliminary assessment

■ If the number of alcoves increases from ~100 to ~200, then

	Beam Instrumentation	Vacuum	Power Supply	Civil Construction	Utility & Ventilation	Control
Cost Change (10k RMB)	-8,000	-3,000	-9,000	+10,000	+8,350=5,350+3,000	+500
Comment			-2.3MW		Electricity with 4 designs from 4,030 to 19,540	
Total				-1,150		

■ ~12 million RMB/y electricity saved with -2.3MW for 5000-hour operation.

金大鹏

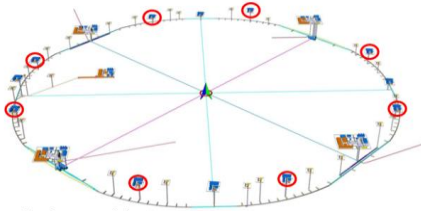
92



Changes in the cost and power of the PS system after increasing the auxiliary tunnel

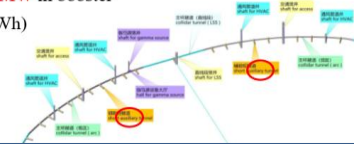
Power Supplies location

- ✓ 8 equipment halls above ground located close to the access shafts
 - (for main B magnet in Collider and Booster)
- ✓ 96 auxiliary tunnels around the main tunnel below ground
 - (for B、Q、S、C magnet in Collider and Booster)
- ✓ Installed nearby the magnet in the tunnel
 - (for Trim of main B、Q in Collider and Booster)



Double the number of auxiliary tunnels (Do not change the Tirm installation position)

- ✓ Cost decreased by 80 million CNY, power consumption decreased by 2.0MW in Collider
- ✓ Cost decreased by 10 million CNY, power consumption decreased by 0.3MW in booster
- ✓ Saves about 8 million CNY/year of operating electricity bill (0.5 CNY/kWh)
- The main reason is that the load cable length is reduced



陈斌

1

系统名称	经费增加 (万元)		
	黄河院	华东院	内部估算
土建 (单个支洞长度缩减为原支洞的2/3, 支洞数量增加1倍, 总的支洞长度增加1/3)	>3000 回复: 辅助短隧道增加一倍, 土建开挖支护投资增加约3千万。此外, 还有洞内装修、给排水、消防设施、屏蔽门等暂未考虑。	~10000 回复: 隧洞支洞数量增加到192个, 支洞长度均变化为原长度2/3的情况下, 土建造价会增加约1个亿。	
供配电 (总负荷不变, 各支洞负荷重新分配)	~3300/15000 回复: (1) 原洞内减少一部分干变容量和低压柜, 新增洞内按照配置子配电站考虑 (3-4面10kV开关柜、2台干变、3-4台低压柜), 整体估算电气设备投资增加约3300万元 (经沟通, 设计院对负荷分配理解有偏差, 认为原有供配电方案不变, 新增支洞仅布置较小负荷; 同时未考虑110kV站10kV出线到隧道各变配电站的高压线缆, 隧道内配电线路变化等); (2) 再次沟通后, 设计院按照原设计方案, 将负荷重新分配至各支洞, 新增支洞配电方案和原方案完全一致, 单侧增加供配电站数量, 增加费用约15000万元 (同时未考虑110kV站10kV出线到隧道各变配电站的高压线缆, 隧道内配电线路变化等)。	~800 回复: 因施工支洞数量及工程量变化引起的其配套其他施工辅助工程 (含变配电系统) 投资增加约800万。 (之前未做CEPC的用电方案, 理解有误, 仅仅是考虑到建安配电)	4000~19000 支洞增加2倍, 核算单个支洞负荷减少。 (1) 将原有支洞的供配电设备一分为二, 布置在相邻两个支洞, 增加高压联络, 增加费用4000万; (2) 新增支洞配电站, 增加费用约12500万元; (3) 新增支洞配电方案和原方案完全一致, 单侧增加供配电站数量, 增加费用约19500万元; (4) 每个支洞变压器数量为, 高压不联络 (高压负荷开关代替中置柜), 低压联络, 增加费用11260万元; (5) 在方案1基础上, 调整变压器容量至1000kVA, 满足tt/50MW, 增加费用5545万 (仅10kV及以下部分)。
空调	~3000 回复: 通风空调系统匡算投资增加约3千万	暂未考虑	~3000 与黄河基本一致, 包括阀组和设备
总计			

黄金书

供配电方案对比

方案	主要说明	变压器容量	增加造价 (万元)	优缺点
方案1	● 每个子站设置1台变压器 ● 每两个子站之间高压联络	1*630kVA	4030	优点: 造价低。 缺点: 供电可靠性低, 如果变压器有故障, 则会影响变配电室运行。
方案2	● 每个子站设置2台变压器 ● 每两个子站之间高压联络	2*630kVA	12,490	优点: 供电可靠性较高。 缺点: 造价较高。
方案3	● 每个子站设置2台变压器 ● 主接线方式同原设计方案	2*630kVA	19,540	优点: 供电可靠性最高, 保护最全面, 可维护性最高。 缺点: 造价最高。
方案4	● 每个子站设置2台变压器 ● 各子站由单母线分段改为单母线 (10kV开关柜为环网柜)	2*630kVA	11,260	优点: 供电可靠性最高, 保护最全面, 可维护性最高。 缺点: 1) 造价一般; 2) 保护不全面, 且各地供电局对负荷开关的使用也有限制。
方案5	● 方案1的基础上, 变压器容量为1000kVA	2*1000kVA	5,350	优缺点同方案1, 但是能满足tt/50MW辅助隧道常规用变压器的要求。

陈福庆

环辅助隧道方案调整及成本分析过程

高能所 CEPC 项目会议纪要

2024（04）号

前端设计及通用、辐射防护讨论会 签发：金大鹏

CEPC 前端设计及通用、辐射防护讨论会纪要

时间：2024 年 03 月 26 日 14:00

地点：化学楼 C407/腾讯视频

主持：金大鹏

出席：高 杰、李煜辉、林国平、黄金书、马忠剑、
马永胜、陈 斌、马新朋、王海静、魏书军、
唐光毅、龙锋利、季大恒、王毅伟、王 斌、
魏源源、金大鹏

记录：金大鹏

一、关于 BPM 测量精度需求。季大恒、王斌、王毅伟从加速器物理的角度做了初步分析和说明，与会人员经过讨论，建议物理系统先做误差分析，然后提出合理且明确的测量精度要求，并反馈给束测系统，束测系统根据该需求设计 BPM 测量系统，在此基础上提出 BPM 测量系统对参考时钟抖动性能的要求。高杰指出，BPM 测量精度需求只是一个起点，另需

要考虑纵向（高频）、轨道反馈等因素，形成一张完整的参数表，逐步完善。

二、唐光毅汇报了隧道内的辐射剂量的初步模拟结果，用硅和树脂代表电子学和电路板，用二氧化硅代表光纤，给出了隧道内有无屏蔽及支洞内有无屏蔽墙的吸收剂量模拟结果。下一步计划给出相应位置的辐照剂量，以及考虑盾构方案，25 厘米厚混凝土屏蔽后的光纤辐照剂量和吸收剂量。

三、黄金书汇报了支洞增加后通用设施的经费增加情况，不同的方案经费增加在 4000 多万到 1.9 亿元之间。关于支洞增加后的基建经费增加情况和对施工进度的影响，请黄金书核实。

四、陈斌汇报，支洞增加后，电源系统经费减少约 9000 万元，电功率降低约 2.3MW。

五、与会人员讨论，SppC 建设运行时，因中子屏蔽困难，绑腿校正子电源放在磁铁支架下部预计不再可行，需要放在支洞内，增加支洞对将来 SppC 预计有好处。

六、本次会议决定。

1. 请物理系统做误差分析，然后提出合理且明确的测量精度要求，并反馈给束测系统，束测系统根据 BPM 系统设计，提出对参考时钟抖动的要求。

2. 请黄金书核实支洞增加带来的基建经费增加情况和对施工进度影响。

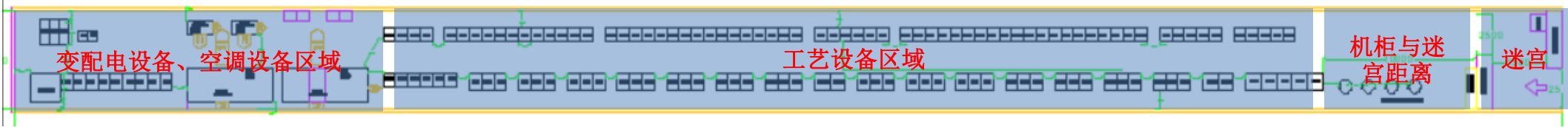
总结几次会议讨论结果，增加辅助隧道数量后，经费情况如下：

土建：增加1亿；
通用设施：增加8350万，其中：供配电增加5350万，空调增加3000万；
控制：增加约500万；

束测：减少8000万；
真空：减少3000万；
电源：减少9000万

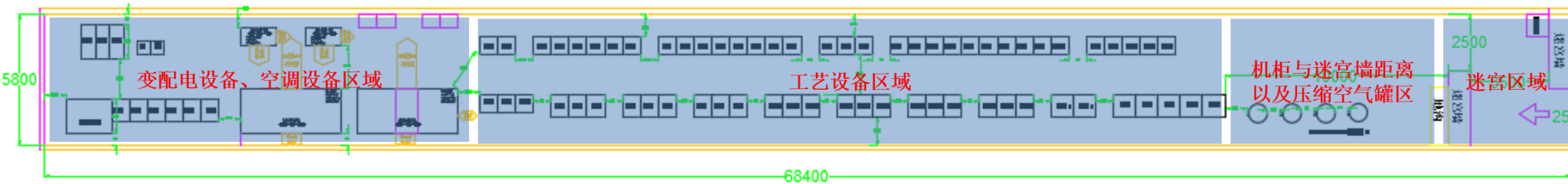
总计成本可减少1150万

辅助隧道垂直布置方案



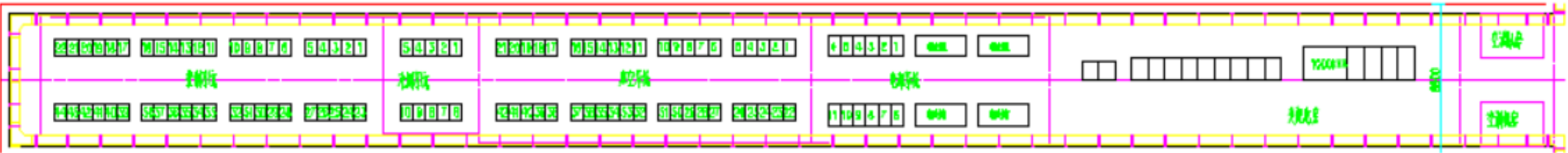
垂直布置，间距1000m方案：6m×100m；考虑主隧道空调，总长度为110m（陈福庆）

主隧道



垂直布置，间距500m方案：5.8m×68.4m；考虑主隧道空调，总长度约74m（陈福庆）

主隧道



垂直布置，间距500m方案：6m×74m
(未考虑机柜与隧道距离，以及屏蔽墙等要求；需继续完善；)

主隧道

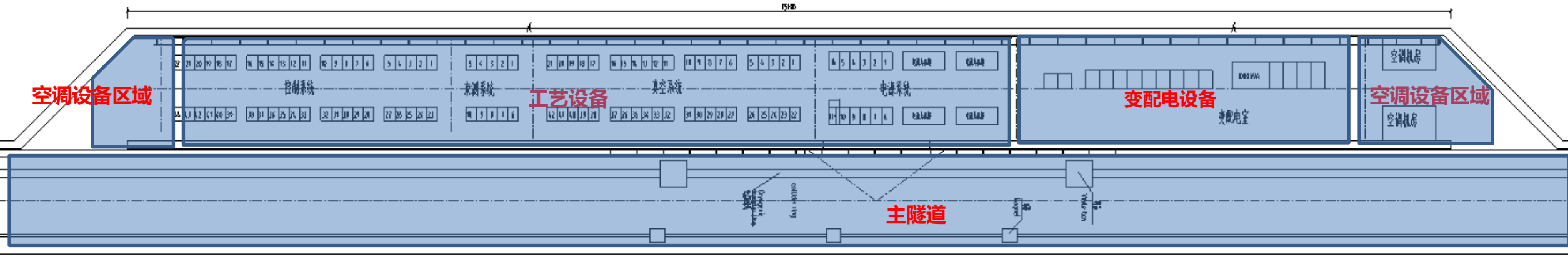
华东院

辅助隧道水平布置方案（500m间距）



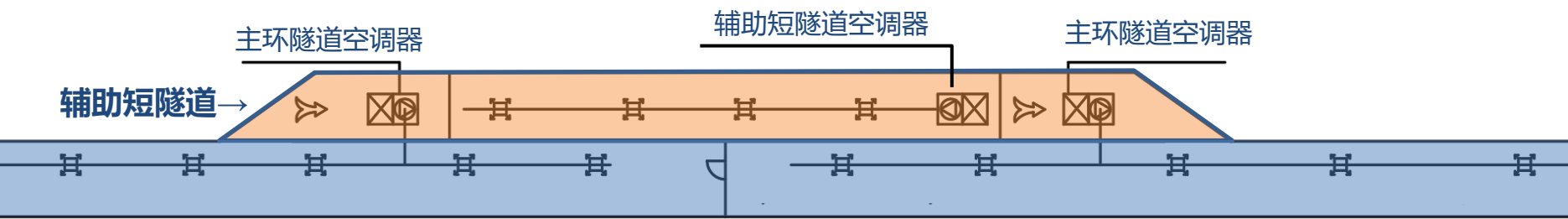
水平布置：5.1m×64m；考虑主隧道空调设备，总长度74m

最刚开始版本 (陈福庆)



水平布置：6.0m×75m

计算、设计：华东勘测设计研究院



空调系统示意图

计算、设计：颜加明（华东勘测设计研究院）

Thank you for your attention!