

# 市域铁路区间桥隧过渡段箱式变电站 布置方案比选研究

孙 萍

(中铁上海设计院集团有限公司, 200070, 上海//高级工程师)

**摘 要** 为节约城市土地资源,缩短施工周期,提高市域铁路区间桥隧过渡段箱式变电站的经济性与可靠性,对市域铁路区间桥隧过渡段的箱式变电站布置方案进行比选。考虑市域铁路区间不同过渡段的不同工况,区间变电站布置设定 4 种方案:①区间变电站设于高架桥下;②区间变电站与雨水泵房合建;③区间变电站设于隧道口上方;④区间变电站设于 U 槽敞开段两线间。对市域铁路区间桥隧过渡段箱式变电站不同布置方案的优缺点进行了分析,针对性地提出区间各过渡段的最优方案。

**关键词** 市域铁路;箱式变电站;布置方案

**中图分类号** U239.5<sup>+</sup>8

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2023.05.019

## Research on Comparative Selection of Box-type Substation Arrangement Scheme for City Railway Interval Bridge-Tunnel Transition Segment

SUN Ping

**Abstract** To save urban land resources, shorten the construction cycle and improve the economy and reliability of box-type substation in city railway interval bridge-tunnel transition segment, the arrangement scheme for the box-type substation of this condition is compared and selected. Considering the different working conditions of various city railway interval transition segments, four interval substation arrangement schemes are formulated: (1) interval substation is located under viaduct bridge, (2) interval substation is built with the rainwater pump room, (3) interval substation is located above tunnel entrance, (4) interval substation is located between the two lines of the U-trough open segment. By analyzing the advantages and disadvantages of different box-type substation arrangement schemes for the city railway interval bridge-tunnel transition segment, the optimal scheme specifically for each transition segment in the interval is proposed.

**Key words** city railway; box-type substation; arrangement scheme

**Author's address** China Railway Shanghai Design Institute Group Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

国内市域铁路建设中,普遍存在城市空间紧张、土建投资费用高和工期紧张等问题<sup>[1]</sup>。区间跟随所作为市域铁路电力供电系统的重要组成部分,其存在用房占地面积较大、选址困难和设计周期长等缺点<sup>[2]</sup>。而箱式变电站具有占地面积小、灵活、安全和经济等优点,同时大大地减少了工程设计量,加之箱式变电站可免除用户申报基建项目,减少审批手续,具有投资少及见效快的特点<sup>[3]</sup>。将箱式变电站引入市域铁路建设中,能较易实现区间景观造型、减少拆迁工作量、节省土建投资、大大减少现场配合量和缩短施工工期等<sup>[4]</sup>。箱式变电站已在欧美普遍使用,在国内也越来越受到青睐。因此,有必要对箱式变电站不同工况下的布置方案进行技术性分析,探究各方案的优缺点,并有针对性地提出市域铁路区间不同过渡段的布置方案,为今后类似工程提供参考。

## 1 工程概况

以某一条市域铁路为例,全线区间共有 4 个桥隧过渡段,每个过渡段的隧道明挖暗埋段各设有 1 座雨水泵房和若干组射流风机。每座雨水泵房均设有 3 台泵,泵组总功率为 135~165 kW 不等;每组射流风机设有 2 台,总功率均为 60 kW。根据这个工况,考虑在每个过渡段设置 1 座 35 kV/0.4 kV 跟随式变电站,为水泵、风机等负荷供电,从临近车站引接 35 kV 电源。35 kV/0.4 kV 区间箱式变电站布置考虑 4 种方案:方案 1 设于高架桥下;方案 2 与雨水泵房合建(设于隧道洞室内);方案 3 设于隧道口暗埋段上方;方案 4 设于 U 槽段两线之间。全线过渡段电力负荷具体情况如表 1 所示。

表 1 全线过渡段电力负荷具体情况

Tab. 1 Detailed electric load conditions of the transition segments of the whole line

过渡段 编号	设备 里程	设备 类型	单台 功率/kW	设备 数量/台	设备 容量/kW
过渡段 1	DK3+418	雨水泵	45	3	135
	左线 DK3+338	射流风机	30	2	60
	右线 DK3+338	射流风机	30	2	60
	左线 DK3+238	射流风机	30	2	60
	右线 DK3+238	射流风机	30	2	60
	左线 DK3+129	射流风机	30	2	60
	右线 DK3+129	射流风机	30	2	60
过渡段 2	DK11+077	雨水泵	45	3	135
	左线 DK11+130	射流风机	30	2	60
	右线 DK11+130	射流风机	30	2	60
	左线 DK11+200	射流风机	30	2	60
	右线 DK11+200	射流风机	30	2	60
过渡段 3	DK22+873	雨水泵	45	3	135
	左线 DK22+597	射流风机	30	2	60
	右线 DK22+597	射流风机	30	2	60
	左线 DK22+665	射流风机	30	2	60
	右线 DK22+665	射流风机	30	2	60
过渡段 4	DK42+576	雨水泵	55	3	165
	左线 DK42+661	射流风机	30	2	60
	右线 DK42+661	射流风机	30	2	60

2 区间箱式变电站布置方案研究

2.1 区间箱式变电站设于桥下(方案 1)

在里程 DK4+0、DK10+500、DK23+300、DK41+900 处分别设一座箱式变电站,尺寸约为 16 m(长)×5 m(宽)×4 m(高),设于高架桥下。高架桥下设箱式变电站的供电路径如图 1 所示:电缆路径从桥下设置的电力排管敷设至路基段,依次沿路基、U 槽、矩形隧道的动照电缆槽敷设至雨水泵房及射流风机处。高架桥下设箱式变电站时所需电缆型号及长度如表 2 所示。

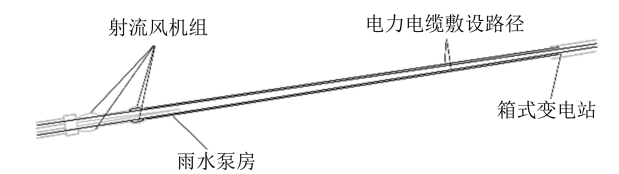


图 1 高架桥下设箱式变电站的供电路径  
Fig. 1 Power supply path for box-type substation under viaduct

表 2 高架桥下设箱式变电站时所需电缆型号及长度  
Tab. 2 Modal and length of cables required for setting box-type substation under viaduct

型号	长度/km
WDZB1N-YJY-0.6/1-4×240+1×120 电缆	18.3
WDZB1N-YJY-0.6/1-4×120+1×70 电缆	42.5
16 孔 MPP-160 混凝土电缆排管	8.0

该方案的优点在于:设于室外,无消防问题,无需土建专业配套房屋。其缺点在于:①按 GB 51348—2019《民用建筑电气设计标准》4.2.3 条文解释,“民用建筑低压供电半径一般不宜超过 300 m,过大可能造成电压损失过大或保护开关不能保护线路末端短路”<sup>[5]</sup>,本方案箱式变电站的设置远离负荷中心,不合理。根据暖通、给排水专业的用电量核算,供电电缆截面大、数量多、敷设困难、投资大;②有接触立柱的 U 槽处,动力照明电缆槽尺寸为 200 mm(宽)×400 mm(深),布置不下所需敷设的电缆,另需对 U 槽段做特殊设计。

2.2 区间箱式变电站与雨水泵房合建(方案 2)

如图 2 所示,箱式变电站设于隧道洞室内,与雨水泵房合建。全线隧道段共设置 4 处设备洞室,分别位于:

1) 过渡段 1(位于 A 站—B 站区间),设备洞室中心里程为 DK3+406,位于区间明挖暗埋箱型结构西南侧,周边地形为厂房厂区,结构距离地下空间边界线净距 4.28 m。设备洞室投资额外增加约 200 万元。

2) 过渡段 2(位于 C 站—D 站区间),设备洞室中心里程为 DK11+086,位于区间明挖暗埋箱型结构南侧,设备洞室位于公路道路红线以内,结构距离地下空间边界线净距 4.65 m。设备洞室投资额外增加约 200 万元。

3) 过渡段 3(位于 E 站—F 站区间),设备洞室中心里程为 DK22+864,位于区间明挖暗埋箱型结构西北侧,位于现状村道与农田,结构距离地下空间边界线净距 4.48 m。设备洞室投资额外增加约 200 万元。

4) 过渡段 4(位于 G 站—H 站区间),设备洞室中心里程为 DK42+580,位于区间明挖暗埋箱型结构左右线中间,位于现状河道位置,结构距离北侧地下空间边界线净距 18.35 m,距离南侧地下空间边界线净距 18.12 m。设备洞室投资额外增加约 400 万元。

综上,4 处设备洞室投资,额外增加共计约 1 000 万元。其中,隧道洞室内的建筑方案考虑如下:

1) 通风:为设备散热,在每个设备洞室的墙上贴顶处设置壁式风机,设百叶风口。4 处过渡段,设备洞室通风设备的投资合计约 6 万元。

2) 消防:在每个设备洞室设超细干粉自动灭火



装置。4 处过渡段,设备洞室消防设备的投资合计约 60 万元。

3) 墙体砌筑及门:在每个设备洞室需设置可拆卸墙体以及 3 道甲级钢制防火抗风压门,侧墙需要设置砌筑墙体,墙体采用钢筋混凝土材质以抗风压。4 处过渡段,设备洞室墙体砌筑(9 万元/处)及门(3 万元/处)的投资合计约 48 万元。

箱式变电站与雨水泵房合建的平面示意图如图 2 所示,所需电缆型号及长度如表 3 所示。4 处过渡段的电力投资合计约 655 万元。

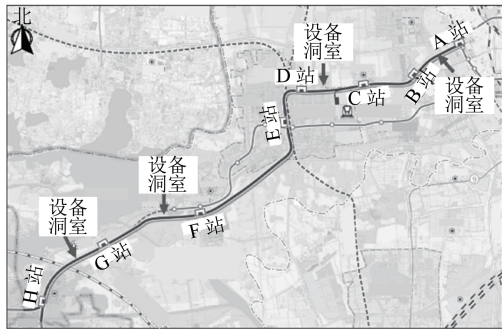


图 2 箱式变电站与雨水泵房合建示意图  
Fig. 2 Diagram of combined construction of box-type substation and rainwater pump room

表 3 箱式变电站与雨水泵房合建时所需电缆型号及长度  
Tab. 3 Modal and length of cables required for the combined construction of box-type substation and rainwater pump room

型号	长度/km
WDZB1N-YJY-0.6/1-4×240+1×120 电缆	0.24
WDZB1N-YJY-0.6/1-4×70+1×35 电缆	5.10
WDZB1N-YJY-0.6/1-4×120+1×70 电缆	2.00

该方案的优点在于:变压器位于负荷中心,极大地节省了电力电缆投资;解决了电缆槽容积不足的问题;无需考虑区间箱式变电站的景观设计问题。其缺点在于:隧道专业需增加开挖洞室的投资;设备洞室设在暗埋段洞口处,需增设消防及通风设施。

### 2.3 区间箱式变电站设于隧道口上方(方案 3)

如图 3 所示,在每个过渡段隧道口暗埋段的上方设置区间箱式变电站。利用敞开段的征地向暗埋方向多征 5 m 宽用地,箱式变电站尺寸(含基础及检修平台)为 16 m(长)×5 m(宽)×4 m(高)。箱式变电站设于隧道口上方时所需电缆型号及长度如表 4 所示。4 处过渡段的电力投资合计约 665 万元。

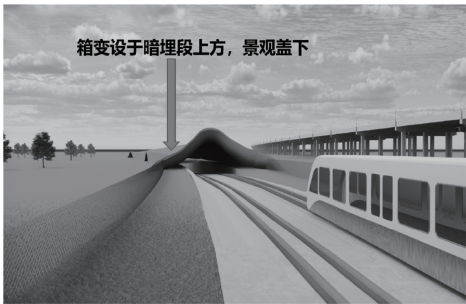


图 3 箱式变电站设于隧道口上方的景观图  
Fig. 3 Landscape rendering of box-type substation setting above tunnel entrance

表 4 箱式变电站设于隧道口上方时所需电缆型号及长度  
Tab. 4 Modal and length of cables required for setting the box-type substation above tunnel entrance

型号	长度/km
WDZB1N-YJY-0.6/1-4×240+1×120 电缆	0.26
WDZB1N-YJY-0.6/1-4×70+1×35 电缆	4.40
WDZB1N-YJY-0.6/1-4×120+1×70 电缆	2.90

该方案的优点在于:变压器位于负荷中心,极大地节省了电力电缆投资;解决了电缆槽容积不足的问题;隧道无需增加投资;无消防、通风等问题。其缺点在于:属于出地面工程,景观要求高;需确保暗埋段上方 5 m 宽的用地可用。既有线暂无此方案的先例。

### 2.4 区间箱式变电站设于 U 槽敞开段两线间(方案 4)

在过渡段 2、3、4 的 U 槽敞开处的两股道之间设置区间箱式变电站,尺寸(含基础及检修平台)为 16 m(长)×5 m(宽)×4 m(高)。

该方案雨水泵及射流风机供电的主要工程量基本同方案 3。其优点在于:变压器位于负荷中心,极大节省了电力电缆投资;解决了电缆槽容积不足的问题;无消防、通风等问题。其缺点在于:属于出地面工程,需配合景观设计。

过渡段 1 为大盾构方案,线间距不足以布置箱式变电站,该处仍采用方案 2 或方案 3。过渡段 2、3 线间距需拓宽,隧道专业需增加投资。对过渡段 2、3 线间距拓宽进行如下线路拓宽设计。

对过渡段 2 线路拓宽设计如下:该处未考虑放置箱式变电站时,明挖敞开段线间距设计最大为 6.4 m,现考虑箱式变电站放置于明挖敞开段,故线间距需增加至满足箱式变电站限界要求的 11.0 m。因此,明挖敞开段线间距需由一般情况的 5.0~6.4 m

增加至 5.0~11.6 m;明挖暗埋段线间距需由一般情况的 6.4~13.3 m 增加至 11.6~17.3 m;明挖段用地增多,工程投资增加约 2 481 万元。

对过渡段 3 线路拓宽设计如下:该处未考虑放置箱式变电站时,明挖敞开段线间距设计最大为 10.0 m,现考虑箱式变电站放置于明挖敞开段,故线间距需增加至满足箱式变电站限界要求的 11.0 m,导致明挖敞开段线间距由一般情况的 5.0~10.0 m 增加至 5.0~11.4 m;明挖暗埋段线间距由一般情况的 10.0~13.9 m 增加至 11.4~14.9 m;明挖段用地增多,工程投资增加约 1 409 万元。

3 方案比选

对表 5 所示的 4 处过渡段的箱式变电站不同布置方案进行比选,并推荐最优方案。

表 5 箱式变电站不同布置方案优缺点比较  
Tab.5 Advantages and disadvantages comparison of different box-type substation arrangement schemes

布置方案	投资金额/万元	优点	缺点
方案 1	8 262	①无需土建配套房屋等设施;②设于室外,无消防问题	①投资很大;②电缆数量多,截面大,部分区段需扩展电力电缆槽;③需融合景观
方案 2	1 769	①供电合理,总投资较小;②无出地面设施,不影响景观	①设置在隧道内(靠近洞口),需配套消防设施;②消防、疏散等需消防部门认可
方案 3	665	①无需土建配套房屋等设施;②设于室外,无消防问题;③供电合理,投资小	①属于出地面工程,应配套景观设计,需得到市政处认可;②需确保暗埋段上方用地归属;③既有线暂无该方案先例
方案 4	4 555	①设于室外,无消防问题;②供电合理	①过渡段 2、3 需拓宽线间距,投资很大;②需融合景观

1) 过渡段 1,采用方案 2。如图 4 所示,在明挖暗埋段,与雨水泵房合建电力洞室。

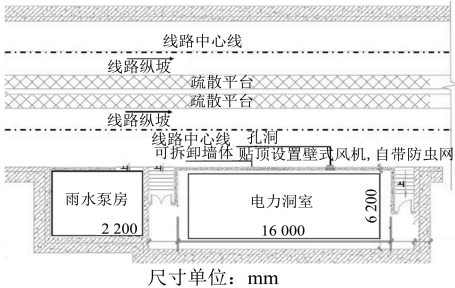


图 4 过渡段 1 区间箱式变电站设计  
Fig. 4 Design of interval box-type substation for the first transition segment

2) 过渡段 2,采用方案 2 与方案 4 结合,如图 5 所示,在明挖暗埋段两线间设箱式变电站。

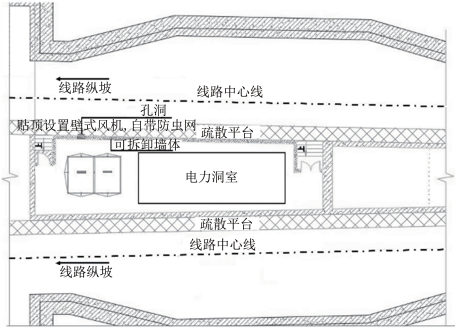


图 5 过渡段 2 区间箱式变电站设计  
Fig. 5 Design of interval box-type substation for the second transition segment

3) 过渡段 3,采用方案 2 与方案 4 结合,如图 6 所示,在明挖暗埋段两线间设箱式变电站。

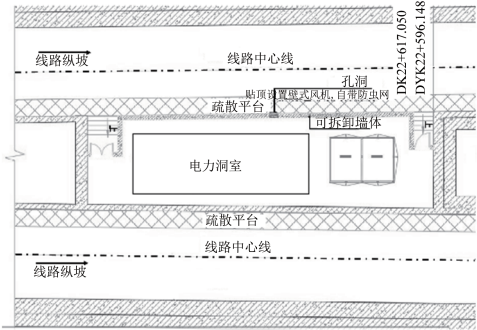


图 6 过渡段 3 区间箱式变电站设计  
Fig. 6 Design of interval box-type substation for the third transition segment

4) 过渡段 4,采用方案 4,线间距大于 11 m,如图 7 所示,推荐在敞开段两线间设箱式变电站。箱式变电站尺寸(含检修平台)约为 5.0 m(宽)×19.5 m(长)×4.5 m(高)。

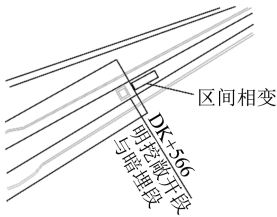


图 7 过渡段 4 箱式变电站设计  
Fig. 7 Design of box-type substation for the fourth transition segment

4 结语

本文以某一条市域铁路的 4 个区间桥隧过渡段为例,详细介绍了区间不同的桥隧过渡段箱式变

站的布置方式、隧道洞室结构、消防安全,以及周围环境优化等因素,分别对区间箱式变电站设于高架桥下、区间箱式变电站与雨水泵房合建、区间箱式变电站设于隧道口上方以及区间箱式变电站设于 U 槽敞开段两线间,这 4 种布置方案的投资成本、消防安全等进行比选,并分析其优缺点。针对性地提出区间不同过渡段的最优方案,其中:过渡段 1 采用方案 2;过渡段 2、3 采用方案 2 与方案 4 的结合;过渡段 4 采用方案 4。本文为箱式变电站在市域铁路区间桥隧过渡段的布置设计提供了参考。

市域铁路作为市域交通,沿线构筑物多、建设运营环境复杂,通过合理布设可进一步推广箱式变电站在市域铁路中的应用。

## 参考文献

- [1] 杜沛生. 箱式变电站运行存在的问题及维护措施研究[J]. 低碳世界,2022,12(4): 34.
- DU Peisheng. Research on the problems existing in the operation of box-type substation and its maintenance measures[J].

Low Carbon World,2022,12(4): 34.

- [2] 朱唯耀. 有轨电车箱式变电站小型化设计及其应用[J]. 城市轨道交通研究,2021,24(增刊2): 61.
- ZHU Weiyao. Design and application of miniaturized tram box substation[J]. Urban Mass Transit,2021,24(S2): 61.
- [3] 喻奇. 箱式直流牵引变电站在城际轨道交通中的应用[J]. 城市轨道交通研究,2020,23(8): 177.
- YU Qi. Application of E-house DC traction substation in inter-city rail transit[J]. Urban Mass Transit,2020,23(8): 177.
- [4] 赵晨. 箱式变电站在城市轨道交通中的实际应用[J]. 电气时代,2020(12): 55.
- ZHAO Chen. Practical application of box-type substation in urban rail transit[J]. Electric Age,2020(12): 55.
- [5] 王东林. GB 51348—2019《民用建筑电气设计标准》: 建筑电气绿色设计部分条款解读[J]. 智能建筑电气技术,2021,15(5): 7.
- WANG Donglin. Standard for electrical design of civil building (GB 51348—2019)—interpretation of some clauses of building electrical green design[J]. Electrical Technology of Intelligent Buildings,2021,15(5): 7.

(收稿日期:2023-01-13)

(上接第 99 页)

度试验作为剩余寿命的首要评估指标。其次,在实际考核中应增加不同批次、不同工况下绝缘子样本的采集数量。一旦试验结果不达标,建议对未达标绝缘子批次重新取样,进一步用试验验证是否需要立即更换。

## 参考文献

- [1] CHEN C, JIA Z, YE W A, et al. Condition assessment strategies of composite insulator based on statistic methods[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2016, 23(6): 3231.
- [2] NING M, LIU Q, YU X, et al. The comprehensive assessment of composite insulator aging condition[C]//2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT). Changsha: IEEE, 2016: 1472.
- [3] 梁英,郭兴五. 基于 FTIR 的硅橡胶绝缘材料的老化程度评估[J]. 高压电器,2015,51(8): 62.
- LIANG Ying, GUO Xingwu. Aging condition assessment of silicone rubber for composite insulators based on FTIR[J]. High Voltage Apparatus,2015,51(8): 62.

- [4] MISHRA A P, GORUR R S, VENKATARAMAN S, et al. Condition assessment of porcelain and toughened glass insulators from residual strength tests[C]//2006 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. Kansas City, MO: IEEE, 2007: 413.
- [5] MISHRA A P, GORUR R S. Investigation of electrical failures in porcelain cap and pin line insulators[C]//2007 Annual Report-Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. Vancouver, BC: IEEE, 2008: 95.
- [6] CHERNEY E A, BAKER A C, KUFFEL J, et al. Evaluation of and replacement strategies for aged high voltage porcelain suspension-type insulators[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2014, 29(1): 275.
- [7] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学, 2000,14(2): 80.
- ZHANG Jijun. Fuzzy analytical hierarchy process[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2000,14(2): 80.
- [8] 胡毅. 送电线路绝缘子运行性能及分析[J]. 高电压技术, 2001,27(2): 33.
- HU Yi. The analysis of characteristics of porcelain insulator, glass insulator and composite insulator in transmission line[J]. High Voltage Engineering,2001,27(2): 33.

(收稿日期:2022-06-16)