

浅析装配式钢结构在西藏民用建筑的应用

王莉

上海荣冶工程技术有限公司

摘要：装配式钢结构建筑具有快速高效、干法施工、绿色节能、低碳环保等特点，对于西藏地质条件复杂、环境恶劣、交通不便等诸多施工制约因素，发展装配式钢结构建筑是推动建筑发展及带动生态文明建设的重要途径。本文结合工程实例，从西藏民用建筑设计要点、构造措施、新型材料运用、施工难度等多方面分析论述装配式钢结构建筑在西藏的设计、施工及使用过程的问题及设计要点。

关键词：装配式钢结构；西藏民用建筑设计要点；山地建筑；围护结构构造；保温构造分析；新型材料；光伏技术；施工难度

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.05.038

引言——西藏环境及政策

西藏自治区位于青藏高原的西南部，海拔4000米以上的地区占全区总面积的85.1%，是世界上海拔最高的地方。西藏属于高严寒、高烈度、生态脆弱的地区，恶劣的自然环境制约着西藏的工程建设。复杂的地质条件使工程建设选址困难，工程规模无法扩展；多变的气候条件增加了工程建设难度，延长了建设周期；落后的交通状况增加了建设成本，延缓了建设步伐。由于水泥在低温情况下无法达到建筑所要求的强度，西藏每年只有4月至10月半年左右的时间可以施工。

在西藏的恶劣建设环境下，装配式钢结构建筑的构件预制、快速安装、干法施工等优势更加明显，不仅可以解决高原藏区的建筑施工难题，也能进一步保护当地的脆弱生态环境，并具有良好的抗震设防、节能环保效果。根据国家大力发展装配式建筑的指导意见，西藏推进装配式建筑发展是工程建设领域推进生态文明建设、落实绿色循环低碳发展理念的重要举措，是提高工程质量和施工安全水平、提升建筑品质的重要手段，是推动建造方式转变、加快建筑业转型升级的重要途径。

上海的装配式钢结构建筑发展处在全国前列，本人有幸参与上海的援藏项目工程。在这些项目中，充分考虑藏族的生活习俗和信仰，结合装配式钢结构的特点，设计具有民族特色且满足藏民生活需求的建筑。在风格上简化西藏建筑元素，在构造上优化节点以适应西藏的恶劣环境，在绿色环保上利用新技术节能减碳。下面将结合工程实例，从西藏民用建筑设计要点、构造措施、新型材料运用、施工难度等多方面分析论述装配式钢结构建筑在西藏的设计、施工及使用过程的问题及设计要点。

一、西藏民用建筑设计要点

上海的援藏项目工程建设地点在日喀则市亚东县、仲巴县及周边，位于西藏西南部，南与尼泊尔、印度、不丹三国接壤。主要解决当地居民住房小康化，建设人畜分离、产居分区、公共服务设施完善且满足戍边需

求、科技运营管理的小康村。在设计上，注重结合当地文化特色，保留传统藏式民居鲜明的民族特色和宗教信仰，打造藏区特色住宅风貌。

(一) 平面布局

西藏游牧文化、宗教信仰和高海拔气候环境决定着他们的生活习性、居住需求与平原地区有着很大的不同。他们的住宅通常为1-2层独栋或联排，面积60-200㎡不等，自带院落。院落内放置柴火、牛粪和家畜饲料。底层设置客厅、厨房、储藏、佛堂等，上部为卧室。客厅内设置暖炉，这是他们取暖、社交最重要的方式。

(二) 立面风格

西藏的传统建筑和藏族文化一样，具有独特的个性——古朴粗犷的建筑外形、明艳的建筑色彩和浓厚的宗教文化装饰。端庄稳固的碉房依山而建，向上收缩的外墙坚实稳固，既利于防风避寒，又便于御敌防盗。

如何同时满足藏式民居的多元化和装配式钢结构建筑的标准化是项目中遇到的最大难题。装配式钢结构建筑要求平面布局方正，立面平整少凹凸变化，而藏式风格的建筑充满了造型和装饰。我们简化并提炼藏式元素，采用具有藏式风格的栏杆和窗户。将窗户四周设置彩色装饰和黑色梯形边框，窗户顶部设置藏式风格的窗楣，并以涂料或线条的形式简化藏式的装饰柱。建筑立面以西藏传统颜色白色、黄色为主，辅以黑色、红色展现藏式特色。考虑西藏多雨雪，屋面采用单坡或者双坡的形式，防止雨雪堆积。

西藏有着充足的阳光资源，但寒冷多雾且昼夜温差大。建筑的南侧开窗大，以便吸收更多的阳光与温度。建筑的北侧开窗很小，满足通风的需求即可。高海拔区域住宅的入口处设置暖房，即封闭的玻璃阳光棚，这是他们入户避风寒且享受阳光的重要地方。在高海拔区域几乎所有门厅、阳台、露台、内庭院等半室外交互空间一般都用玻璃封闭，既能享受阳光又能满足活动需求。尤其一些公共建筑如村委会，内庭院大面积的玻璃顶空间给人们宽阔舒适感的同时又能满足使用功能及保暖的需求。



援藏项目：亚东县边境小康村一期建成实景图

（三）总体布局

日喀则区域多山，项目皆盘山而建，整体场地高差大。总体规划设计时保证住宅区域尽量处于平整区域，公共建筑按山地建筑设计以解决场地内的高差。有的筑高台靠室外台阶解决高差；有的通过建筑设置地下室，错层进出，在建筑内部消化高差。山地建筑在规划设计上有很多的难点，如山地建筑中的护坡设计、挡土墙设计、台地台阶设计。我们结合景观设置梯田花海、涂鸦宣传等美化护坡、挡土墙；设置具有藏式风格的景观小品，结合台地台阶的高低落差打造富有藏式特色和信仰的特殊场地。

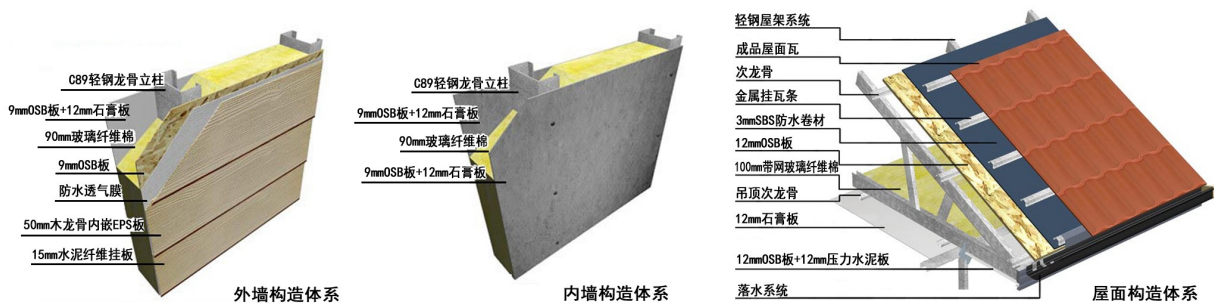
这些难点都成了项目的亮点，不仅满足山地建筑的技术要求又使得项目的整体景观错落有致，丰富立体。

西藏地理环境恶劣，项目总体的市政管线不能像平原地区一样，拥有便利完善的系统管网，尤其高海拔地区的通水通电通气通路都是特别难完成的。没有天然气的使用，做饭取暖都是用电或者烧柴或牛粪；没有化粪池及污水管网，厕所不设置于室内，带清理口的旱厕设置于院子的外侧，定期清理维护；水管在冬天会冻裂，采用坡屋面自由落水，减少室外雨水管的设置，室内的水管包覆保温棉做好保温防冻措施。

二、钢结构构造节点及难点分析

（一）围护结构构造

在西藏的装配式钢结构民用建筑中，主体结构技术相对成熟。常见的有冷弯薄壁轻钢龙骨体系、钢框架结构体系等，无论哪种主体结构体系都具有轻质高强、工厂预制率高、抗震性能卓越、低碳节能等特点，比钢筋混凝土结构更能适应当地高严寒高烈度的环境且不受环境影响能快速安装。装配式钢结构建筑不仅需要完善的主体结构，与之匹配的围护结构体系同样重要。具有高装配性、可预制加工且无传统的湿法作业的围护结构体系是西藏的民用建筑能如期完工的关键。



（二）保温构造分析

西藏天气寒冷，土质坚硬且冻土层深。提高西藏装配式钢结构建筑的保温节能性能以满足民用建筑的节能需求，是设计中的最大挑战。在项目中，我们除了在围护结构体系内采用常见的玻璃纤维棉、聚苯乙烯泡沫板

在援藏项目中，围护墙体采用的是与钢结构最为适配的轻钢龙骨墙体体系。轻钢龙骨墙不同于一块块砌筑的砌块墙体，保温、防水及防火的构造都是轻钢龙骨墙的设计重点。镀锌轻钢龙骨内嵌保温玻璃纤维棉，起到保温隔热的作用，镀锌龙骨两侧各设置一层OSB板，固定玻璃棉的同时也增加轻钢龙骨墙的防火性能。此组合类比传统设计的基层墙体，通过轻钢龙骨体系组建一个基层墙体结构体系，内外墙面层做法皆在此基层墙体体系上搭建。外墙外侧在OSB板上敷设一层防水透气层解决墙体防水通气的需求，外墙面层采用自带装饰效果的水泥纤维挂板，挂板龙骨内再设一层聚苯乙烯泡沫保温板增加保温效果。藏族民居的墙面上通常有着各种各样的彩绘和涂鸦，这是他们的风俗与信仰，为了方便藏民绘制图案，外墙内侧及内墙面层采用纸面石膏板。有水房间的内墙面采用瓷砖面层。考虑瓷砖的重量对板材的影响，水泥纤维板承重力大于OSB板且更适用于有水环境，将有水房间的内墙侧的OSB板换为带一层防水隔汽层的水泥纤维板，涂刷防水涂料后粘接瓷砖。

装配式钢结构屋面通常以轻钢龙骨或钢框架构建。钢作为天然冷桥，屋面的保温和防水构造是设计的重难点。西藏多雨雪，屋面常采用坡度较大的坡屋面防止雨雪堆积。基于此需求，我们在项目中采用“双层顶”，既解决了坡屋顶与室内平吊顶的矛盾，也提高了装配式钢结构屋面的保温性能。“双层顶”的底层是平顶层，用带网片的玻璃纤维棉对坡屋架的底部平屋架进行保温包覆，下部安装石膏板吊顶，这一层解决了屋面的保温及室内装修的吊顶安装；“双层顶”的顶层是坡顶层，坡屋架上铺设带一层自黏性防水卷材的OSB板，上部采用成品屋面瓦，这一层解决了屋面的防水问题。“双层顶”之间形成了空气流通夹层，起到保温隔汽的作用，同步解决钢结构容易出现的冷凝问题。

和挤塑聚苯板外，还对部分特殊部位采用了特别的保温构造措施，这些都是提高装配式钢结构节能保温的重要举措。

为隔绝地下湿气和冻土对钢结构建筑的影响，保证地坪的平整性和加固钢结构的基础的稳定性，在结构

平板基础下方设置配钢筋的混凝土垫层和EPE聚乙烯薄膜。沿建筑周边400mm范围内敷设挤塑聚苯板,维护结构基础的保温性能,减少湿气及寒冷对钢结构基础的冻蚀。

西藏住宅建筑的采暖方式通常为烧暖炉或电暖气片,预留空调的安装条件。公共建筑通常会设置空调和采暖地面,以保障公共区域的采暖需求。采暖地面的供热方式为预制沟槽保温板热水地面辐射供暖,预制沟槽保温板为带管沟槽的预制成品保温板,沟槽内设置加热水管,保温板下设置EPE垫层隔绝热量的散失,保温板上设置金属箔作为均热层,将热量均匀散发至房间每个地方。

(三) 特殊构造分析

钢结构建筑的装配式不仅体现在主体结构和围护结构,部品部件的特殊构造都影响着装配式钢结构建筑的系统完整性和统一性。

藏式风格的建筑立面线脚多样,在构造上我们不能用传统的混凝土或者GRC线脚来解决,采用经过防腐处理的木板或者压力水泥板组合成各种线脚造型,粘锚结合固定于结构框架,带宗教信仰的装饰造型采用喷绘钢板或铝板定制完成。

建筑内部的楼梯由钢结构或轻钢结构组成。为减少人踩踏钢楼梯而产生的噪音,采用L型钢楼梯板内填细石混凝土,上铺地砖或木板。通过混凝土对钢楼梯板的加固,不仅减少了钢楼梯踩踏时的震动,也减小了踩踏过程中造成的噪声。

对于烟囱穿外墙的节点构造,需要特别注意开孔部位的保温、防火、防水及封堵。墙板开洞处需要增设套管,洞口里高外低,防止雨水倒灌。管道两侧用岩棉包裹密实并用密封胶嵌缝,并于两侧设置OSB板固定岩棉。

三、新材料及光伏的应用

(一) 新材料的应用

装配式钢结构建筑的构造中,存在许多“膜”类新型材料,这些膜实用、轻薄,在钢结构的构造中起着不同的作用。根据这些“膜”类新型材料的特点,针对性地选用不仅能优化钢结构的构造,而且使钢结构系统更加完整。

反射型防水透气膜作为防水垫层铺设于外墙外侧或屋顶的OSB板上,具有挡水、防潮、透气功能,可将外界水与空气气流阻挡在建筑保温层的外部,同时能将室内及围护系统保温隔热层中的潮气排到室外。透气膜与外墙板之间设置的龙骨形成空气层,便于排出围护系统内潮气,有效避免在墙体及屋面中的钢构件出现冷凝情况,保证保温(隔热)材料效能的发挥,从而达到节能提高建筑耐久性的作用。

防水隔汽膜是防水保护膜,也是一种防水垫层。它的防水效果更好,但无法发挥出建筑结构内的水汽。基于它的特性,防水隔汽膜常用于卫生间、淋浴间等室内有水房间的墙面、屋面,设于保温层的内侧或下层,防止室内湿气和水汽渗入保温层。

金属箔作为均热层设于采暖地面的热源上方,可以使得热量散发均匀。

EPE聚乙烯薄膜是一种防渗透膜,具有较好的耐潮性和阻隔热源性。设于结构基础下方或者采暖地面的保温板下方,主要用于阻挡地下水汽对建筑的侵蚀或隔绝热量的散失。

(二) 光伏的应用

西藏虽然环境恶劣,但拥有得天独厚的太阳资源。西藏的太阳辐射总量仅次于撒哈拉沙漠,位居世界第二位。这将是中国的未来能源宝库,也是光伏发展的绝佳阵地。

在援藏的项目中,我们不仅在建筑的装配式钢结构体系上实现了绿色环保、节能减排,也利用光伏技术在西藏的环保建设上增砖添瓦。在整体的景观规划中,设置具有西藏特色的光伏发电的太阳能路灯;在社区定点设置光伏发电的太阳能车棚,为藏民提供可充电的非机动车停车区域;在试点区域用光伏幕墙改造建筑立面,在新技术新材料的加持下使立面焕然一新;在试点区域的公共建筑屋顶设置光伏屋面,进行光伏发电。

四、结论与展望

西藏的地势影响着材料的运输,西藏的环境限制了施工条件,西藏的高原反应影响着施工人员的健康,西藏的极端天气制约着我们的工期。但是我们依然能通过装配式钢结构建筑体系来完成西藏的建设。目前西藏的建设还处于起步阶段,装配式钢结构的建筑体系或许能成为打开西藏快速建设大门的敲门砖。

装配式钢结构体系还处于待完善阶段,希望通过上文对西藏装配式钢结构建筑的设计要点浅析,能对装配式钢结构建筑体系的研究有所帮助。结合西藏的实际情况,因地制宜、就地取材选取建筑材料,通过新材料及新技术的开发和应用完善装配式钢结构建筑体系,实现模块化设计、工厂化生产、工业化建设,打造符合生态文明建设、落实绿色循环低碳发展理念的新建筑。

参考文献

- [1] 王国振. 中国西藏[M]. 北京: 新星出版社, 2005年.
- [2] 陈耀东. 中国藏族建筑[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007年.
- [3] 梁栋, 宋彪, 沈重. 装配式钢结构建筑研究与应用[J]. 建设科技. 2016(z1): 79-81.