

广州亚运城太阳能生活热水系统的思考

赵世明 王耀堂 刘振印

(中国建筑研究院,北京 100044)

摘要 对广州亚运城太阳能热水系统的设计和运行进行总结,提出应注意的问题,如:太阳能集中供应系统应采用最高日和平均日两个热水定额设计,集热系统的用水标准可按最高日定额成比例折算;室外热水管道不宜同程布置,应就近回到机房;热泵作太阳能热水系统辅助热源应与空调供冷联用;集中热水供应的平面分区应考虑低入住率因素;开式循环回水应严格控制循环水量;集中热水供应系统应特别关注管网散热损失。

关键词 太阳能热水定额 室外循环管道 热泵 循环水量 广州亚运城

0 引言

广州亚运城的太阳能热水集中供应系统是目前国内规模最大的太阳能热水项目,该系统已经成功经受了亚运会的运行考验,赛后的住宅用水工况还

国家科技部科研院所技术开发研究专项;广东省重大科技专项(2009A080306002);广州市重大科技专项(2008A1-C011)。

会减少,故人均用水量可能出现降低的趋势。另一方面,配套服务人员相对固定、用水量相对稳定,随着运动员人数增加,每个运动员分摊的服务人员用水量减少,则人均用水量降低。

4 结论及建议

(1) 通过实际监测,亚运会赛时运动员村入住人数为 4 849~11 557 人,为设计入住率的 33%~78%;二级站供水温度在 52~55 °C;人均日生活热水用水量在 55.45~90.78 L/(人·d),平均约为 72.06 L/(人·d),折合成 60 °C 热水平均约为 64.26 L/(人·d),最高用水量约为 80 L/(人·d);日耗热量为 39 795 956~99 796 414 kJ/d,平均约为 80 110 716 kJ/d,人均日耗热量为 7 336~12 010 kJ/(人·d),平均约为 9 533 kJ/(人·d)。

(2) 大型体育赛事中运动员居住区(如不考虑赛后用途)生活热水量,若按宾馆进行设计,用水定额至少会比实际人均用水量偏高 50%以上,日耗热量能达到实际耗热量的 2 倍多。因此按照住宅或酒店式公寓进行设计应该更为合理,可以满足赛时运

有待检验。

经历了设计、施工、运行、测试各个阶段之后,笔者感到有些内容值得总结提炼,以利于太阳能热水工程技术和集中热水供应技术的发展。

1 太阳能热水集中供应系统应采用最高日和平均日两个热水定额设计

太阳能热水集中供应系统由集热系统和热水供

动员的用水要求。

(3) 监测结果显示,入住率与人均用水量呈现反向相关趋势。而工程设计往往不考虑入住率问题,如果实际入住率偏低,将造成明显的水量浪费。

(4) 当前国内对大型体育赛事运动员居住区的用水规律研究较少,规范中也无明确定义,因此相关规范应当对大型体育赛事热水系统方面的内容进一步修正和完善。

参考文献

- 1 GB 50015—2003 建筑给水排水设计规范
- 2 2009 全国民用建筑工程设计技术措施—给水排水,2009
- 3 王耀堂,罗慧英,刘振印. 广州亚运城太阳能热水集热系统关键设计参数分析与取值. 给水排水,2010,36(4):72~79

8. 通讯处:100124 北京市朝阳区平乐园 100 号北京工业大学建筑工程学院市政工程系

电话:15210937598

E-mail:flyzstc@163.com

收稿日期:2011-08-09

应系统构成。集热系统的设施包括集热器、集热水箱、集热循环泵等。热水供应系统的设施包括辅助热源加热、供热水箱(罐)、热水循环泵等。这些设施的大小几乎都与设计水量或热水定额有关,热水定额的选取直接影响太阳能热水集中供应系统的规模、造价、供水安全性以及经济性。

广州亚运城的太阳能热水集中供应系统按赛时和赛后两种工况设计。在亚运会比赛期间,运动员村、媒体村、技术官员村的功能是提供住宿,用水性质类似于宾馆。在赛后,这些建筑将作为商品住宅向社会出售,其功能和用水性质转化为住宅。这两种设计工况的日用水量是不一样的。

太阳能热水辅助热源及热水供应系统的设计工况按最高日用水量设计,并且取赛时和赛后两个水量的最大值。赛时的热水定额取 $120 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$ (60°C),赛后住宅的热水定额取 $90 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$ (60°C)。

太阳能集热系统的设计工况根据赛后住宅平均日用水量设计,热水定额取 $45 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$ (60°C),为最高日用水量的 50%。

比赛期间在对该热水系统进行测试时,对运动员村热水用水量做了粗略的统计,其结果表明运动员村人均日用水量约为 $64 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$ (60°C ,其中分摊了服务管理人员用水量),约为设计最高日用水量的 53%。

根据本工程的实践可总结出以下几点:

(1) 太阳能集热系统和热水供应系统应该分别选取不同的热水定额,集热系统的热水定额应按平均日用水量选取,热水供应系统的热水定额按最高日用水量选取。集热系统用水标准根据最高日定额按一定比例折减,折减系数可取 $0.5 \sim 0.6$ 。建议《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003,2009年版,以下简称“规范”)[1]和《居住小区集中热水供应技术规程》(CECS 222—2007)[2]中太阳能集热系统的热水定额按最高日热水定额下限取值的规定进行修改。

(2) 太阳能集热加热系统的利用,追求的首要目标是节能。系统满负荷运行的时间比例越多,则系统的利用率越高,投资回收期越短。集热器设计用水量取得低,则用户实际用水超出设计水量的机

会越大,太阳能满负荷运行的时间越长,投资回收期越短。然而,若太阳能设备的规模过小,虽然投资回收期很短,但太阳能资源又未被充分合理利用。综合平衡之后,设计用水量应按平时经常出现的数值选用,这样可使集热加热部分得到较充分的利用。对于超出设置流量的用水时间,需启动辅助热源补充不足部分。

(3) 在具体工程设计时,太阳能集热系统的用水标准可按如下方法选定:首先不考虑太阳能因素按照“规范”选定热水供应系统的最高日用水量定额,再根据该定额折减换算出太阳能集热系统的热水用量标准,集热系统的热水用量随最高日设计用水量成比例变化。

2 开式系统室外热水管道不宜同程布置应就近回到机房

广州亚运城项目在平面上划分了 3 个供水区域,分别对应 3 个辅助加热能源站室。3 个区域的室内热水管网有的竖向不分区,有的分为 2 个区。尽管室内分区方式不一致,但 3 个区各自的室外热水管网的循环回水管设置都是一致的,即都只设一条回水管,且就近回到能源站室,连接到开式的加热水箱上。室内有 2 个竖向分区的热热水回水管,通过减压平衡控制,汇入室外的同一条回水管中。每个室内系统循环回水的形成和控制,都由回水出户管上的温控阀完成。通过实测和亚运会赛事的考验,室内用水点的水温都达到了设计要求和用户要求。

上述循环回水设置方式具有如下优势:

(1) 比室外热水管道同程布置减少大量的室外埋地管道,这一方面降低了管道、器材和施工费用,另一方面还减少了系统的热损失。按照同程布置方式,室外循环回水管道的长度有 2 个能源站区要增加 1 倍,1 个能源站区要增加 2 倍。本工程埋地热水管道的造价在每米数百元。根据国家标准图给出的散热计算方法对本项目的热水系统散热进行计算,在最高日用水工况,管网的散热损失约占用热量的 15%,而在平均日用水工况,散热损失比例将上升到 30%左右。可见,减少循环回水埋地管道的长度,对于降低系统的造价和节约能耗,都非常重要。

(2) 解决了大型开式热水循环系统不采用同程

布置而保证循环效果的难题。本项目中,每个供水区域中含有十几栋甚至几十栋住宅,建筑有高有低,并且建筑形状各异、复杂多样。对于每栋建筑内部,热水系统基本能够实现管道同程布置。然而,当这些建筑的热水系统在室外并联到一条供水总管道和一条回水总管道之后,即使室外回水管道严格按同程布置,各建筑之间也很难实现管道同程,因为有的建筑在室内的管道短,有的建筑在室内的管道长,这些管道长短不一使得整个系统的同程布置无法实现。

因此,由于建筑小区中各栋建筑的形状和高度不可能都一致,其集中热水供应系统难以实现同程布置,也没有必要去追求室外管道同程布置。从节约投资和节省能耗的角度出发,室外热水管道包括回水管道,应走尽量短的路线与机房连接。循环回水的均匀分布应采用其他手段进行控制。

3 热泵作太阳能热水系统辅助热源应与空调供冷联用

3.1 热泵与空调供冷联用

亚运城太阳能热水系统的辅助热源由公共建筑集中空调系统的江水源热泵供给,加热能力按最高日用水量设计。由于空调系统的制冷功率远大于生活热水的制热功率,所以其中一部分热泵设计为制冷制热供应联用,可同时制备生活热水和为空调系统供冷。当太阳能充足、热水温度足够、不需要启动辅助热源时,热泵只为空调系统供冷;当不需要空调制冷时,热泵只制备生活热水;当空调制冷和热水制备同时需要时,则采用热泵制冷排出的热量制备生活热水。

上述江水源热泵作为太阳能热水辅助热源与空调制冷联用,具有以下优势。第一,这些热泵尽管由于冷热联用而导致单独制冷或制热时效率会有所降低,但是,当太阳能不足需启动辅助热源、加热和制冷同时进行,热泵的节能效率得到叠加。第二,太阳能加热充足不需要辅助热源时,热泵仍然运行,向空调系统供冷。这样,热泵虽然是辅助热源,但仍然能长时间高效运行,设施得以充分利用,取得较高的节能总量。对于广州这样空调期长的地区尤其如此。第三,热泵机组由于冷热联用其投资回收期缩短。

3.2 单独采用热泵作辅助热源

太阳能热水系统辅助热源的另一个考虑方案是单独设置江水源热泵,不与空调系统联用。这样的设置在实际工程中已不少见。这种设置中,热泵的总运行时间将大为减少,其能力得不到充分发挥。作为节能设施,其投资回收期将延长,甚至超出合理范围。

热泵辅助热源的制热能力应按最高日 100% 热水用水量配置,本工程太阳能集热系统的规模按平均日用水量 40% 的保证率设置,辅助热源的制热功率约是太阳能制热功率的 5 倍,其规模远大于太阳能设备。但是,太阳能设备几乎可供应 40% 的年用热量,而辅助热源供应约 60% 的年用热量,其供热量仅是太阳能设施的 1.2 倍。如果热泵作为辅助热源不与空调制冷联用,则热泵的节能收益将远低于太阳能设施,失去节能的合理性。目前,单独设置热泵作为太阳能热水系统辅助热源的工程,都面临着这样的问题。

综上所述,热泵专门作太阳能热水系统的辅助热源经济性差,不值得推广。

4 集中热水供应的平面分区应考虑低入住率因素

亚运城太阳能集热系统的供热保证率为 40%,另外约 60% 的热水由辅助热源供应。辅助加热集中在 3 个能源站中。辅助热源加热的热水通过直埋管道输送到众多二级站室的热水箱中,再用变频泵加压经室外直埋管道供应到各栋建筑的用户。辅助热源加热供水方案的主要特点是加热相对集中,热水供水泵房相对分散设置。

3 个江水源热泵能源站是制备生活热水和空调制冷两个专业共用的机房,其设置位置和数量需要两专业协调。从生活热水供应的角度考虑,其数量设置多些有利,可减小能源站过大的供水区域,有利于赛后转换为住宅使用时,对较低入住率阶段的适应性或灵活调度运行。实施方案中,通过设置多个二级站室满足了上述需要。

二级站室均匀地分布在运动员村、媒体村中,每个站室负担就近住宅的热水供应。当入住率较低、有些住宅不需要热水或运行费用难以接受时,有以下措施应对:

(1) 对于不需要热水的住宅,可关闭相应的二

级站室。二级站室不运行,则相应的供水管网的散热损失消失,避免摊高其他供水住宅的热水成本。

(2) 屋面太阳能热水加热到 $55\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时才进入二级站室热水箱。入住率低又需要供应热水时,太阳能热水温度可满足大部分用户要求而直接供应,不必集中到能源站室辅助加热,只有阴雨天才需由辅热站室供热。

5 开式循环回水应严格控制循环水量

各栋建筑的循环回水均通过室外循环回水管道回到相对集中设置的能源站中,排入开式的加热水箱,之后再通过能源站的热水泵输送到二级站室,由二级站室的热水供水泵加压提升到热水输配水管道。循环水每完成一次循环,就经历一次水压的释放和提升。这种循环方式和闭式循环相比无疑加大了耗能量,因此,必须严格控制循环流量和循环次数,以缓解循环能耗增大的现象。采取的主要措施如下:

(1) 加大循环控制阀开启和关闭期间的温度差,减少各栋建筑的循环次数和时间。各栋建筑内的回水出户管道上设有温度控制阀,根据设定的温度开启和关闭。开启后,循环水流动,关闭后,循环停止。常规的控制温差设在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,本项目加大到 $8\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 有些工程实例的循环水量计量表明,循环水的累计量远大于热水使用量,甚至高出一个数量级。这多是循环水流发生短路造成的。温控限流阀可避免循环水流短路和超量循环水发生。本项目拟采用自力温控限流阀。满足供水卫生要求的限流阀目前为进口产品,价格较高,且该产品不能完全关闭,阀门最小开启时,仍然有 $1/3$ 的设定流量通过,不适用于大型开式系统,因此施工安装过程中被取消,用电磁阀替代。

(3) 在进入能源站内的总回水管上设定时电磁阀,用水高峰时段可关闭整个系统的循环,减少循环累计水量。亚运会比赛期间,由于入住率高、用水量,就实行了在某些时段关闭总回水阀的运行方式。各栋建筑内的循环回水出户管上的温控阀,感温点设置在控制阀前(上游)管道上,阀门关闭时,该点的水静止,温度随着时间的延长而持续下降,下降到设

定的温度值,控制阀开启,循环开始运行。感温点的水静止时,温度下降速度与管道的散热相关,而与系统的用水量无关。也就是说,只要循环终止一段时间,控制阀就要开启下一次循环,即使是在高峰用水时段完全不需要循环水流动维持配水管道的水温。实际上,只要系统中的用水量超过一定的数值,比如 15% 最大小时用水量与设计循环流量之和,则系统就足以自行保持所需要的水温,循环就是不必要的,属无效循环量。另外,在后半夜完全没有用水时,循环也可以关闭。

目前在水源热泵生活热水和较大型的太阳能热水工程中,循环回水进入底部开式水箱释放压力的做法很普遍。这些系统的回水都需要采取严格的措施控制循环回水量,以减小循环水的动力能耗和减少回水管网的散热损耗。

6 集中热水系统应特别关注管网热损失

本工程计算表明,住宅集中热水管网热损失量超过平均日用热量的 30% ,相关规范中只是规定了不超过最高日用热量的 10% ,但最高日用热量在工程中出现的频率极小,而平均日用热量是常态。考虑到入住率等原因,在低入住率条件下还要小于设计平均日用热量,使得热损失所占比例更高。因此应严格控制集中供热输配管网的散热损耗,使每户平均负担的这部分耗热损耗不超过 60 W 。

集中热水系统减少竖向分区,可有效减少供回水管道和管网热损失。热水系统合理提高分区压力值、通过设置支管减压等方式保证冷热水压力平衡等做法应受到关注。这类做法较好地解决了冷热水供水分区不同时的压力平衡问题,同时大大降低了管道造价,节能节材。

参考文献

- 1 GB 50015—2003 建筑给水排水设计规范(2009 版)
- 2 CECS 222—2007 居住小区集中热水供应技术规程

& 通讯处:100044 北京市西外车公庄大街 19 号

E-mail: zhaosm@cadg.cn

收稿日期:2011-08-09